WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 7: WO 00/13056 (11) Internationale Veröffentlichungsnummer: G02F 1/00 A2 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 9. März 2000 (09.03.00)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/DE99/02608

- (22) Internationales Anmeldedatum: 19. August 1999 (19.08.99)
- (30) Prioritätsdaten:

198 39 308.3

DE 28. August 1998 (28.08.98)

- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): NOE, Reinhold [AT/DE]; Helmerner Weg 2, D-33100 Paderborn (DE).
- SIEMENS AKTIENGE-(74) Gemeinsamer Vertreter: SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: CN, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

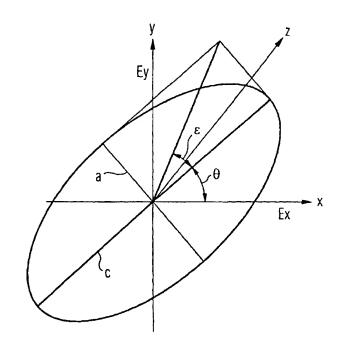
- (54) Title: POLARISATION TRANSFORMER WITH VARIABLE INTRINSIC MODES OF POLARISATION ELEMENTS
- (54) Bezeichnung: POLARISATIONSTRANSFORMATOR MIT EINSTELLBAREN EIGENMODEN DER POLARISATIONSELE-**MENTE**

(57) Abstract

The inventive polarisation transformer (PT) contains 3 to 8 polarisation elements (W1, W2, ...), at least 3 of which are controlled individually. The intrinsic modes can be regulated in such a way as to produce an at least overall approximate difference in propagation time between the intrinsic modes of π rad. Any state of polarisation can be achieved by linearly modifying the set values.

(57) Zusammenfassung

Der Polarisationstransformator (PT) enthält 3 bis 8 Polarisationselemente (W1, W2, ...), von denen mindestens 3 individuell angesteuert werden und bei dem die Eigenmoden so eingestellt werden können, daß sich zumindest insgesamt näherungsweise eine Laufzeitdifferenz zwischen den Eigenmoden von π rad ergibt. lineare Änderung der Einstellwerte kann jeder Polarisationszustand erreicht werden.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

							Słowenien
	Armenien		Finnland	_	Litauen		Słowakci
ΑT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg		Senegal
ΑU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	T.J	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland		Republik Mazedonien	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungam	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
ВЈ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		Amerika
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Victnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik	NZ	Neusceland	zw	Zimbabwe
CM	Kamerun		Korea	PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		
	AZ BA BB BE BF BG BJ BR CA CF CG CH CI CM CN CU CZ DE DK	AM Armenien AT Osterreich AU Australien AZ Aserbaidschan BA Bosnien-Herzegowina BB Barbados BE Belgien BF Burkina Faso BG Bulgarien BJ Benin BR Brasilien BY Belarus CA Kanada CF Zentralafrikanische Republik CG Kongo CH Schweiz CI Cöte d'Ivoire CM Kamerun CN China CU Kuba CZ Tschechische Republik DE Deutschland DK Dänemark	AM Armenien F1 AT Österreich FR AU Australien GA AZ Aserbaidschan GB BA Bosnien-Herzegowina GE BB Barbados GH BE Belgien GN BF Burkina Faso GR BG Bulgarien HU BJ Benin IE BR Brasilien IL BY Belarus IS CA Kanada IT CF Zentralafrikanische Republik JP CG Kongo KE CH Schweiz KG CI Cöte d'Ivoire KP CM Kamerun CN China KR CU Kuba KZ CZ Tschechische Republik LC DE Deutschland LI DK Dänemark LK	AM Armenien FI Finnland AT Österreich FR Frankreich AU Australien GA Gabun AZ Aserbaidschan GB Vereinigtes Königreich BB Barbados GH Ghana BE Belgien GN Guinea BF Burkina Faso GR Griechenland BG Bulgarien HU Ungarn BJ Benin IE Irland BR Brasilien IIL Israel BY Belarus IS Island CA Kanada IT Italien CF Zentralafrikanische Republik JP Japan CG Kongo KE Kenia CH Schweiz KG Kirgisistan CI Cöte d'Ivoire KP Demokratische Volksrepublik CM Kamerun CN China KR Republik Korea CU Kuba KZ Kasachstan CZ Tschechische Republik LC St. Lucia DE Deutschland LI Liechtenstein DK Dänemark LK Sri Lanka	AM Armenien FI Finnland LT AT Osterreich FR Frankreich LU AU Australien GA Gabun LV AZ Aserbaidschan GB Vereinigtes Königreich MC BA Bosnien-Herzegowina GE Georgien MD BB Barbados GH Ghana MG BE Belgien GN Guinea MK BF Burkina Faso GR Griechenland BG Bulgarien HU Ungarn ML BJ Benin IE Irland MN BR Brasilien IL Israel MR BY Belarus IS Island MW CA Kanada IT Italien MX CF Zentralafrikanische Republik JP Japan NE CG Kongo KE Kenia NL CH Schweiz KG Kirgisistan NO CI Còte d'Ivoire KP Demokratische Volksrepublik NZ CM Karnerun KR Republik Korea PT CU Kuba KZ Kasachstan RO CZ Tschechische Republik LC St. Lucia RU DE Deutschland LI Liechtenstein SD DK Dänemark LK Sri Lanka SE	AM Armenien FI Finnland LT Litauen AT Österreich FR Frankreich LU Luxemburg AU Australien GA Gabun LV Lettland AZ Aserbaidschan GB Vereinigtes Königreich MC Monaco BA Bosnien-Herzegowina GE Georgien MD Republik Moldau BB Barbados GH Ghana MG Madagaskar BE Belgien GN Guinea MK Die ehemalige jugoslawische BF Burkina Faso GR Griechenland Republik Mazedonien BG Bulgarien HU Ungarn ML Mali BJ Benin IE Irland MN Mongolei BR Brasilien II Israel MR Mauretanien BY Belarus IS Island MW Malawi CA Kanada IT Italien MX Mexiko CF Zentralafrikanische Republik JP Japan NE Niger CG Kongo KE Kenia NL Niederlande CH Schweiz KG Kirgisistan NO Norwegen CI Cöte d'Ivoire KP Demokratische Volksrepublik NZ Neusceland CM Kamerun KR Republik Korea PT Portugal CU Kuba KZ Kasachstan RO Rumånien DK Dänemark LK Sri Lanka SE Schweden	AM Armenien FI Finnland LT Litauen SK AT Österreich PR Frankreich LU Luxemburg SN AU Australien GA Gabun LV Lettland SZ AZ Aserbaidschan GB Vereinigtes Königreich MC Monaco TD BA Bosnien-Herzegowina GE Georgien MD Republik Moldau TG BB Barbados GH Ghana MG Madagaskar TJ BE Belgien GN Guinea MK Die ehemalige jugoslawische TM BF Burkina Faso GR Griechenland Republik Mazedonien TR BG Bulgarien HU Ungarn ML Mali TT BJ Benin IE Irland MN Mongolei UA BR Brasilien IL Israel MR Mauretanien UG BY Belarus IS Island MW Malawi US CA Kanada IT Italien MX Mexiko CF Zentralafrikanische Republik JP Japan NE Niger UZ CG Kongo KE Kenia NL Niederlande VN CH Schweiz KG Kirgisistan NO Norwegen YU CI Cöte d'Ivoire KP Demokratische Volksrepublik NZ Neusealand ZW CM Kamerun KR Republik Cora PL Polen CN China KR Republik Korea PT Portugal CU Kuba CZ Kasachstan RO Rumkinien CZ Tschechische Republik LC St. Lucia RU Russische Föderation DK Dänemark LK Sri Lanka SE Schweden

1

Beschreibung

Polarisationstransformator mit einstellbaren Eigenmoden der Polarisationselemente

5

Die Erfindung betrifft einen Polarisationstransformator nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Ein Polarisationstransformator dient zur Veränderung des Po-10 larisationszustandes einer elektromagnetischen, vorzugsweise optischen Welle.

In der optischen Übertragungstechnik werden lange Lichtwellenleiter-Übertragungstechniken eingesetzt. Die Lichtwellen-15 leiter sind herstellungsbedingt nicht vollständig isotrop, sondern schwach doppelbrechend. Wegen der großen Übertraqungslänge ergibt sich hierdurch eine frequenzabhängige Polarisationstransformation, Polarisationsmodendispersion (PMD) oder kürzer Polarisationsdispersion genannt. Diese führt ins-20 besondere zur Verbreiterung gesendeter Impulse, wodurch die Übertragungsdatenrate limitiert wird. Eine Kompensation wird dadurch erschwert, daß sich die Polarisationsmodendispersion durch unterschiedliche Temperaturen oder mechanische Beanspruchung verändert. Deshalb werden adaptive PMD-25 Kompensatoren benötigt, die, in den Übertragungspfad einge-

Polarisationstransformatoren, welche sowohl in PMD-Kompensatoren als auch zu anderen Zwecken, beispielsweise der 30 Einstellung eines gewünschten Eingangspolarisationszustandes am Eingang eines polarisationsabhängigen optischen Verstärkers, eingesetzt werden können, sind prinzipiell bekannt und beispielsweise in IEEE Journal of Light Wave Technology, Vol. 8, Nr. 3, March 1990, Page 459 - 465 oder beschrieben.

fügt, die schädlichen Auswirkungen kompensieren sollen.

35 Zur Steuerung der Polarisation werden Flüssigkristall-Retarder verwendet. Ein Polarisationstransformator besteht hier aus drei von einer Lichtwelle durchlaufenen Retardern.

2

Zwei Retarder arbeiten als Einheit unabhängig vom dritten und werden von zwei unabhängigen Regelkreisen angesteuert. Der Nachteil des Retarders besteht darin, daß nematische Flüssigkristalle verwendet werden. Diese haben eine niedrige, für kommerziellen Einsatz nicht ausreichende Ansprechgeschwindigkeit. Außerdem ist die Verzögerung variabel, während die Eigenmoden fest sind. Dies bedeutet, daß, wenn die Verzögerungsgrenzen erreicht sind, im Betrieb Rücksetzvorgänge erforderlich sind, welche schwierig zu implimentieren sind und Übertragungsfehler bewirken können.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen mit wenigen Retardern realisierbaren Polarisationstransformator anzugeben, der keine Rücksetzvorgänge erfordert. Ersoll auch ohne mechanisch beweglich Retarder realisierbar sein.

Diese Aufgabe wird durch einen Polarisationstransformator nach Anspruch 1 gelöst.

10

20 Wesentlich bei diesem Polarisationstransformator ist, daß zumindest drei Polarisationselemente unabhängig voneinander ansteuerbar sind. Der beschriebene Polarisationstransformator läßt sich mit geringem Aufwand und niedriger Eigendämpfung realisieren. Durch die Verwendung einer minimalen Anzahl von Retardern wird auch das Bauvolumen verringert. Der Polarisationstransformator ermöglicht die sog. "endlose" Polarisationsregelung. Dies bedeutet, daß ein bestimmter Eingangspolarisationszustand in jeden beliebigen Ausgangspolarisationszustand transformiert werden kann, und daß beliebige vorgegebe-30 ne Änderungen dieses Ausgangspolarisationszustands auf direktem Wege erreicht werden können, also ohne Umwege über weitere Polarisationszustände. Entsprechendes gilt für die Transformation eines beliebigen variablen Transformationszustandes in einem bestimmten festen Polarisationszustand. Diese Eigen-35 schaft ist von besonderer Bedeutung, da die Bitfehlerrate eines optischen Datenübertragungssystems vom Polarisationszustand abhängt und dieser seinerseits von Schwankungen des Po-

3

larisationsübertragungsverhaltens einer langen Lichtwellenleiterstrecke beeinflußt wird, eine nicht endliche Polarisationsregelung kurze Perioden mit sehr hohen Bit-Fehlerraten bewirken würde, während eine endlose Polarisationsregelung 5 dies vermeiden kann.

Der erfindungsgemäße Polarisationstransformator kommt theoretisch mit drei verschiedenen Polarisationselementen aus, die jedoch in großen Bereichen verstellbar sein müssen. Die Verwendung von mehreren Polarisationselementen läßt größere Toleranzen zu und kommt mit geringen Einstellbereichen aus. Auch ist die Verwendung von ferroelektrischen Flüssigkristallzellen möglich, so daß bewegliche Elemente entfallen.

15

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand von Figuren näher beschrieben.

Es zeigen:

20

- Figur 1 eine Polarisationsellipse,
- Figur 2 eine Poincaré-Kugel,
- Figur 3 einen erfindungsgemäßen Polarisationstransformator,
- Figur 4 bis 8 verschiedene Ansteuerdiagramme,
- 25 Figur 9 eine Sendeeinrichtung und
 - Figur 10 einen Kompensator zur Polarisationsmodendispersion.

Zur Darstellung von Polarisationszuständen hat sich die sog. Poincaré-Kugel bewährt. Ein Polarisationszustand wird durch einen normierten Stokes-Vektor dargestellt. Da die Länge des Vektors für vollständig polarisiertes Licht gleich 1 ist, liegen seine Endpunkte auf der Kugeloberfläche. Zum besseren Verständnis ist in Figur 1 zunächst die sog. Polarisationsellipse dargestellt. Die Achsen x und y liegen in einer Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Achse z. Die elektrischen Feldstärkekomponenten sind mit Ex und Ey bezeichnet. θ bezeichnet den Erhebungswinkel der großen Hauptachse c

4

(Hauptrichtung der Polarisation) gegenüber der x-Achse und & den Elliptizitätswinkel. In der dreidimensionalen Datenstellung der Poincaré-Kugel bezeichnet die S1-Achse den Grad der horizontalen bzw. vertikalen Polarisation. Da in der Poincaré-Kugel die doppelten Winkel aufgetragen sind, bedeuten negative Werte auf der S1-Achse eine vertikale Polarisation. P1 entspricht einem horizontalen Polarisationszustand und P2 einem vertikalen Polarisationszustand. Die S2-Achse steht entsprechen für +45°/-45° lineare Polarisation und die S3-Achse für rechts-/linkszirkulare Polarisation.

In die Poincaré-Kugel sind außerdem der Äquator und die von den Achsen S2 und S3 aufgespannte Ebene eingezeichnet; die von den Achsen S1 und S3 aufgespannte Ebene wurde dagegen nur angedeutet.

15

20

10

Mittels einer "endlosen" Polarisationsregelung soll ein bestimmter Einganspolarisationszustand, beispielsweise P1 (S1 = 1) in jeden beliebigen Ausgangszustand transformiert und auch eine beliebige vorgegebene Änderung dieses Ausgangspolarisationszustandes auf direktem Wege erreicht werden können. Bevor hierauf weiter eingegangen wird, soll die Arbeitsweise des Polarisationstransformators näher erläutert werden.

In Figur 3 ist ein Ausführungsbeispiel des Polarisation-25 stransformators PT dargestellt. Die über einen Lichtwellenleiter LWL ankommende Lichtwelle LW wird in einer Gradientenlinse L1 aufgefächert und durchläuft verschiedene Polarisationselemente oder Retarder W1 bis W6, um in einer zweiten Linse L2 zusammengefaßt zu werden und über einen polarisati-30 onserhaltenden Lichtwellenleiter PMF (mit einer Länge, die einer Gruppenlaufzeitdifferenz zwischen den beiden erhaltenden Polarisationen liegt) ausgekoppelt zu werden. Als Retarder W1 bis W6 eignen sich Wellenplatten und besonders ferroelektrische Flüssigkristallzellen, die mit Elektroden versehen sind und durch das Anlegen von Steuerspannungen U1 bis U6 als Polarisationselemente wirken. Jeder Retarder weist zwei zueinander orthogonale Eigenmoden und eine annähernd konstan-

5

te Laufzeitdifferenz, kurz Verzögerung genannt, zwischen "schnellen" und "langsamen" Eigenmoden auf. Durch individuelle Steuerung der Retarder mit unterschiedlichen Spannungen
können von einem bestimmten Polarisationszustand, beispielsweise Pl (Sl = 1) ausgehend sämtliche Punkte auf der Oberfläche der Poincaré-Kugel, d.h. sämtliche Polarisationszustände
erreicht werden.

Zur Erleichterung des Verständnisses ist ein gedanklicher 10 Zwischenschritt zweckmäßig. Eine Voraussetzung zur gewünschten Funktionsweise ist, daß der Polarisationstransformator zumindest näherungsweise eine gesamte Verzögerung zwischen seinen orthogonalen Eigenmoden entsprechend π rad besitzt, also im Fall horizontaler oder vertikaler Eingangspolarisation eine Polarisationsänderung um 90° bewirken kann. In der 15 Darstellung auf der Poincaré-Kugel bedeutet dies, daß der Polarisationszustand P1 auf der Achse S1 in den Polarisationszustand P2 (S1 = -1) übergeführt werden kann, der dem Punkt P1 gegenüberliegend dargestellt ist. Der Polarisationstrans-20 formator, als homogenes Element betrachtet, besitzt neben der genannten Verzögerung natürlich auch orthogonale Eigenmoden. Die von ihm bewirkte Polarisationstransformation läßt sich deshalb in Form einer einzigen Drehung angeben. Die Drehachse verläuft durch die beiden Eigenmoden. Im angegebenen Beispiel 25 liegt sie in der von den Achsen S2 und S3 gebildeten Ebene und der Winkel 2y wird zwischen der positiven S2-Achse und der Achse des Großkreises angegeben. Die Überführung des einen Polarisationszustandes in den anderen Polarisationszustand erfolgt jeweils über einen Großkreis GK (von beliebig 30 vielen Großkreisen).

In Figur 4 sind für einen Polarisators mit 3 Retardern W1, W2, und W3 die Funktionen der Einstellwerte, hier die jeweiligen doppelten Erhebungswinkel $2x\theta1$, $2x\theta2$ und $2x\theta3$ der einzelnen Retarder, dargestellt, bei denen für die unterschiedlichsten Werte von 2γ (2γ entspricht der Schwenkung der Eigenmoden bzw. der Achse eines Großkreises um die S1-Achse und

gibt damit beliebige durch S = 1 und S = -1 gehende Großkreise an) ein linearer Eingangs-Polarisationszustand P1 (S1 = 1) mit einem Erhebungswinkel von 0° auf der Ausgangsseite zu einem Polarisationszustand mit einem Erhebungswinkel von $\pi/2$ (S1= -1) wird, d.h. zu einem senkrechten Polarisationszustand wird.

Will man jedoch nicht diese maximale Änderung des Polarisationszustandes erreichen, sondern einen zur Kompensation erforderlich "Betriebs-Polarisationszustand" PB, so sind die in Figur 4 angegebenen Erhebungswinkel gleichmäßig linear zu reduzieren, um auf einem bestimmten durch 2 γ festgelegten Großkreis zum gewünschten Polarisationszustand zu gelangen. Da sich mit der Erhebungswinkel im allgemeinen auch gleichzeitig die Eigenmoden des gesamten Polarisationstransformators ein wenig verändern, beispielsweise aus der durch die Achsen S2 und S3 gebildeten Ebene heraustreten, ist nicht genau die Gruppe von Erhebungswinkeln maßgebend, die bei dem zugehörigen Wert 2 γ abgelesen wird, sondern eine in deren Nachbarschaft ablesbare Wertegruppe von Erhebungswinkeln, die gleichmäßig linear zu reduzieren ist. In diesem Fall gelangt man trotzdem zum gewünschten Polarisationszustand PB.

Zusätzliche Funktionalität, welche im Betrieb Robustheit gegenüber auftretenden Schwankungen aller Arten, beispielsweise Temperaturschwankungen verschafft, erhält man, wenn im Fall einer eingestellten Verzögerung von wenigstens näherungsweise π die Eigenmoden des Polarisationstransformators nicht nur auf einem Großkreis der Poincaré-Kugel endlos eingestellt werden können, sondern auch in der Nachbarschaft dieses Großkreises. Ein entsprechendes Toleranzband TB, innerhalb dessen sich die Eigenmoden des Polarisationstransformators bei eingestellter Verzögerung von π bewegen können, ist schematisch in Figur 2 dargestellt. Diese zusätzliche Funktionalität ergibt sich automatisch, insbesondere in solchen Fällen, in denen der Polarisationstransformator aus vier oder mehr Einzel-

7

retardern zusammengesetzt ist, durch die individuellen Ansteuermöglichkeiten dieser Retarder.

Man sieht, daß die Funktionsverläufe der Erhebungswinkel als Funktion von 2 γ stetig und periodisch (gleiche Anfangs- und Endwerte) sind. Um beispielsweise endlos variable Ausgangspolarisationen zu erzeugen, welche die Zustände (a) zirkular (S3 = 1), (b) linear mit Erhebungswinkel - $\pi/4$ (S2 = -1), (c) entgegengesetzt zirkular (S3 = -1), (d) linear mit Erhebungswinkel $\pi/4$ (S2 = 1) und wiederum (e) linear mit Erhebungswinkel $\pi/4$ (S2 = 1) nacheinander und unter stetiger Änderung annimmt, sind fortlaufende Wertegruppen, welche bei fortlaufenden Werten der waagerechten Achse abzulesen sind, unter linearer Reduzierung anzuwenden.

15

Die Wertegruppen für die einzelnen Polarisationszustände sind dem in Figur 4 dargestellten Diagramm - außer für die Punkte Pl und P2 - demnach nicht direkt zu entnehmen, sondern für die in der Ebene S2, S3 liegenden Punkte etwa zu halbieren.

20

Die dargestellten Funktionen für die einzustellenden Erhebungswinkel schwanken um Mittelwerte, bei denen die Eingangspolarisation den Polarisationstransformator unverändert passiert. Auf diese Weise wird sichergestellt, daß auch alle zwischen den genannten möglichen Ausgangspolarisationen liegenden möglichen Polarisationenszustände durch eine entsprechende Wertegruppe mit geringen Amplituden erreicht werden können.

Die in Figur 4 dargestellten Erhebungswinkel müssen unter Berücksichtigung von Nichtlinearitäten und nicht konstanten Verzögerungen zwischen den Eigenmoden der Retarder in Steuerspannungen umgesetzt werden und sind von den Laufzeitdifferenzen der Eigenmoden abhängig. In dem angegebenen Beispiel

besitzen die Retarder W1 und W3 eine dem Winkel von ϕ 1 = ϕ 3 = 1,8947375 rad (Radiant) entsprechende Laufzeitdifferenz

8

(Verzögerung) zwischen den Eigenmoden, der Retarder W2 eine Laufzeitdifferenz von 1.9427 rad.

Vorteilhaft an diesem Ausführungsbeispiel ist die sehr gerin-5 ge Anzahl von erforderlichen Wellenplatten; nachteilig ist der relativ große maximal erforderliche Einstellwinkel der Eigenmoden. Ferroelektrische Flüssigkristallzellen, die zur Realisierung besonders geeignet sind, besitzen zur Zeit nur Einstellbereiche von +/-45° oder weniger.

10

Die großen Erhebungswinkel bzw. Einstellbereiche können wesentlich verkleinert werden, indem mehr als 3 Retarder vorgesehen sind. Figur 5 zeigt dies bei Verwendung von vier Retardern, deren Laufzeitdifferenzen für die Eigenmoden ϕ 1 = ϕ 2 = $-\phi 3 = -\phi 4 = 2.123$ rad beträgt. Dieser Polarisationstransfor-15 mator hat den Vorteil, daß nur ein Typ von Wellenplatten oder Flüssigkrisstallelemente erforderlich ist, von denen die beiden letzten um 90° verdreht werden. Durch die Drehung um 90° werden die langsamen und schnellen Eigenmoden vertauscht, so daß sich, bezogen auf die ursprünglichen Eigenmoden, das Vorzeichen der Verzögerung ändert. Wie anhand von Figur 5 ersichtlich ist, liegen die maximal erforderlichen Einstellbereiche der doppelten Erhebungswinkel bei etwa +/-1,1 rad. Dies läßt sich mit ferroelektrischen Flüssigkristallzellen 25 (FLC) bereits erreichen. Anstelle der genannten Verzögerung können auch etwas andere Werte (0,96 ...1,1) x 2.123rad verwendet werden.

In Figur 6 ist das entsprechende Wertediagramm für 5 Retarder dargestellt. Die Verzögerungen betragen für $\phi 1 = \phi 5 = 1,2860$ rad, $\phi 2 = \phi 4 = 2.1823$ rad, $\phi 3 = 1.4939$ rad. In Figur 7 ist das Wertediagramm eines anders ausgeführten Polarisationskompensators dargestellt, dessen Verzögerungen $\phi 1 = \phi 2 = \phi 3 = \phi 4 = \phi 5 = 1,27$ rad betragen. Wegen der vorhandenen Freiheitsgrade können bei mehr als drei Polarisationselementen stets mehrere Sätze von stetigen Funktionsverläufen angegeben werden.

9

Figur 8 zeigt die Werte für 6 Retarder. Die Verzögerungen betragen für $\phi 1 = \phi 3 = -\phi 4 = -\phi 6 = 1,8652$ rad und für $\phi 2 = -\phi 5 = 2,631$ rad. Die hinteren drei Wellenplatten sind gegenüber den drei vorderen wiederum um 90° gedreht, um negative Verzögerungswerte mit den gleichen Bauelementen realisieren zu können. Es sind nur drei Funktionsverläufe angegeben, die jeweils für einen Erhebungswinkel einer Wellenplatte und dessen negative Funktion für eine weitere Wellenplatte gelten.

10

15

20

25

35

Für Ausführungsformen mit ungerader Elementeanzahl ist es günstig die Verzögerungswerte bezüglich des mittleren Elements symmetrisch zu gestalten, da sich auf diese Weise möglichst kleine maximal erforderliche Einstellbereiche der doppelten Erhebungswinkel $2x\theta1$, $2x\theta2$,... ergeben.

Während Wellenplatten lineare Eigenmoden besitzen, gilt dies für ferroelektrische Flüssigkristallzellen nicht uneingeschränkt, da diese chirale Moleküle und eine helikale Molekül-Superstruktur besitzen. Dennoch kann die Erfindung auch uneingeschränkt in diesen Fällen verwendet werden, sofern die Eigenmoden sich bei Anlegen einer Zellenspannung auf einem Großkreis der Poincaré-Kugel bewegen. In der Praxis wird dies nicht immer zu erfüllen sein. Dennoch läßt ein Polarisationstransformator gemäß der Erfindung auch für solche Fälle, beispielsweise mit ferroelektrischen Flüssigkristallzellen problemlos realisieren, wenn vier oder mehr Flüssigkristallzellen vorgesehen sind. Selbst der Fall, daß die Verzögerungen bei einer Veränderung der Eigenmoden nicht konstant bleiben, wird durch die zusätzlichen Freiheitsgrade beherrschbar. Bezogen auf die Figur 2 kann es insbesondere in solchen Fällen notwendig werden, daß die Punkte P1 und P2 auf der Poincaré-Kugel nicht oder nicht genau gegenüber liegen. Wie aus den Darstellungen der Wertegruppen hervorgeht, gehen die wählbaren Funktionsverläufe der verstellbaren Eigenmoden mit zunehmender Anzahl von Retardern immer mehr in Sinusverläufe

10

über. Exakte Sinusverläufe an allen Wellenplatten sind jedoch erst bei unendlich vielen Wellenplatten erreichbar.

Ein erfindungsgemäßer Polarisationstransformator kann die 5 bisherigen Polarisationstransformatoren, wie sie beispielsweise in der Patentanmeldung DE 36 31 798.5 beschrieben sind, ersetzen. Alternativ zu dieser Verwendung in einem Kompensator ist die Verwendung der Erfindung bei der sendeseitigen Kompensation oder, genauer gesagt, der Vermeidung von Polarisationsdispersion erster Ordnung dadurch möglich, daß die 10 Sendepolarisation einer der Polarisationsmodendispersion erster Ort nicht unterworfenen Polarisation der Übertragungsstrecke, eines sog. "principal state of polarisation" entspricht. Zu diesem Zwecke können beispielsweise ferroelektrische Flüssigkeitszellen gleich in das Sendelasermodul mit 15 eingebaut werden. Dies ist Figur 9 prinzipiell dargestellt, bei der ein Laser LA und ein Polarisationstransformator PT zusammengefaßt sind.

Die Erfindung kann auch als in einem Kompensator zur Polari-20 sationsmodendispersion eingesetzt werden. Dazu werden abwechselnd ein Polarisationstransformator PT1, PT2, PT3, ... und ein Verzögerungselement, welches eine näherungsweise frequenzabhängige große Verzögerungszeit zwischen seinen principal states of polarisation besitzt, beispielsweise ein Stück 25 polarisationserhaltende Faser PMF1, PMF2, PMF3, .. von einer Lichtwelle LW durchlaufen. Ein solcher Kompensator wird bevorzugt empfängerseitig am Ende der Übertragungsstrecke eingesetzt. In den Fällen, wo beliebige und im allgemeinen mehrere Polarisationen gleichzeitig am Eingang eines Polarisati-30 onstransformators anliegen, ist die Eingangspolarisation nicht mehr gleich dem Punkt P1 (Figur 1). Die Anforderungen an die Polarisationstransformatoren sind aber trotzdem mit den vorstehend beschriebenen identisch.

11

Patentansprüche

- 1. Polarisationstransformator (PT) mit mehreren von einer Lichtwelle durchlaufenden einstellbaren Retardern (W1 W6),
- die zwei zueinander orthogonale Eigenmoden und zumindest eine annähernd konstante Laufzeitdifferenz zwischen diesen Eigenmoden aufweisen,

dadurch gekennzeichnet,

daß zumindest drei der Retarder (W1, W2, W3) individuell an-

10 gesteuert werden,

daß wenigstens ein Retarder durch elektrostatische Felder innerhalb von Grenzen, also nicht endlos einstellbare Eigenmoden aufweisen kann,

daß die Eigenmoden der Retarder (W1, W2, W3) so eingestellt

- werden können, daß sich zumindest näherungsweise eine Laufzeitdifferenz zwischen den Eigenmoden entsprechend einer Phasendifferenz von π rad ergibt,
 - daß die Überführung des ersten Polarisationszustandes (P1) in den zweiten Polarisationszustandes (P2) zumindest annähernd
- über beliebige Großkreise (GK) einer Poincaré-Kugel erfolgt, wobei diesen unterschiedliche Gruppen von Einstellwerten (2xθ1, 2xθ2, 2xθ3, ...) der einzelnen Retarder (W1, W2, W3, ...) zugeordnet sind, und
- daß zwischen dem ersten Polarisationszustand (P1) und dem zweiten Polarisationszustand (P2) zumindest annähernd entlang allen Großkreisen Änderungen des Polarisationszustandes durch zumindest annähernd lineare Änderungen der Einstellwerte $(2x\theta1,\ 2x\theta2,\ 2x\theta3,\ \ldots)$ durchgeführt werden können.
- 2. Polarisationstransformator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Überführung des ersten Polarisationszustandes (P1) in den zweiten Polarisationszustandes (P2) über beliebige Großkreise (GK) einer Poincaré-Kugel erfolgt.

25

30

- 3. Polarisationstransformator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei Einstellung einer Verzögerung von π Eigenmoden eingestellt werden können, die sich auf einem einen Großkreis einschließendem Toleranzband (TB) der Poincaré-Kugel endlos varieren lassen.
- 4. Polarisationstransformator nach Anspruch 2 oder 3,
 10 dadurch gekennzeichnet,
 daß wenigstens eine die Einstellwerte (2xθ1, 2xθ2, 2xθ3, ...)
 der Retarder (W1, W2, W3, ..) angebenden Funktionen nicht sinusförmig verläuft.
- 15 5. Polarisationstransformator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellwerte ($2x\theta1$, $2x\theta2$, $2x\theta3$, ...) um Mittelwerte, bei denen die Eingangspolarisation erhalten beleibt, variiert werden.
- 6. Polarisationstransformator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß 3 bis 8 Retarder (W1, W2, W3, ...) vorgesehen sind.
- 7. Polarisationstransformator nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß Retarder (W1 bis W6) mit zumindest annähernd gleichen Einstellmöglichkeiten ihrer Eigenmoden vorgesehen sind.
 - 8. Polarisationstransformator nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Retarder (W1 bis W8) Wellenplatten vorgesehen sind.

10

- 9. Polarisationstransformator nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Retarder(W1 bis W8) ferroelektrische Flüssigkristallelemente vorgesehen sind.
 - 10. Polarisationstransformator nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß vier bis acht Flüssigkristallelemente vorgesehen sind.
- 11. Polarisationstransformator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß 3 Retarder (W1, W2, W3) vorgesehen sind, die Laufzeitdifferenzen zwischen den Eigenmoden von zumindest annähernd φ 1 = φ 3 = 1,89947375 rad und φ 2 = 1,9427 rad aufweisen.
- 12. Polarisationstransformator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß vier Retarder (W1, W2, W3, W4) vorgesehen sind, die Laufzeitdifferenzen zwischen den Eigenmoden von zumindest annähernd $\phi 1 = \phi 2 = -\phi 3 = -\phi 4 = 2,123$ rad aufweisen.
 - 13. Polarisationstransformator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,
- daß fünf Retarder (W1, W2, W3, W4, W5) vorgesehen sind, die Laufzeitdifferenzen zwischen den Eigenmoden von zumindest annähernd $\phi1=\phi5=1,2860$ rad, $\phi2=\phi4=2.1823$ rad und $\phi3=1,4939$ rad aufweisen.
- 14. Polarisationstransformator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß 6 Polarisationselemente (W1, W2, W3, W4, W5, W6) vorgesehen sind, die Laufzeitdifferenzen zwischen den Eigenmoden von zumindest annähernd $\phi 1 = \phi 3 = -\phi 4 = -\phi 5 = 1,8652$ rad und, $\phi 2 = -\phi 5 = 2.6310$ rad aufweisen.

14

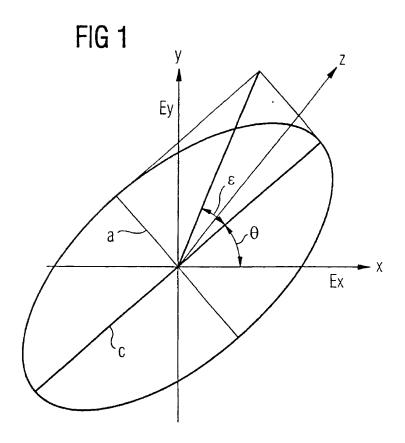
15. Polarisationstransformator nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

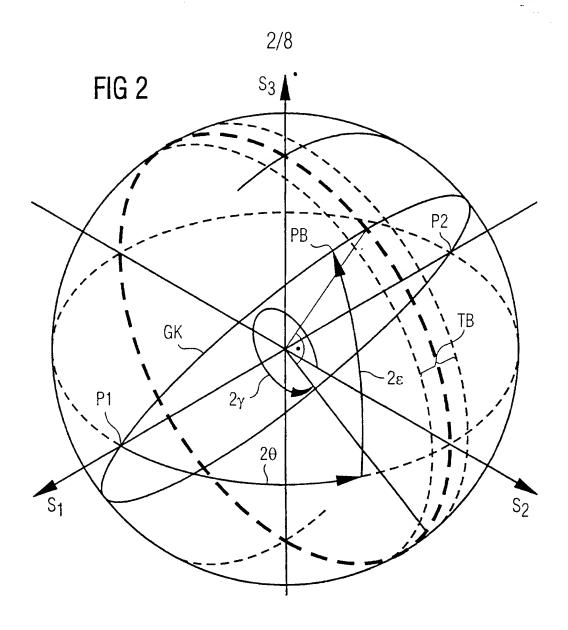
dadurch gekennzeichnet, daß er bei einer optischen Übertragungsstrecke zur Regelung der Sendepolarisation vorgesehen ist.

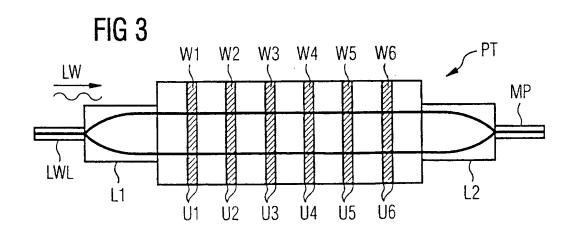
16. Polarisationstransformator (PT1, PT2, ...) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß er in Reihe mit einem differentiellen Laufzeitglied (PMF1, PMF2, PMF3, ...) in Empfängernähe zur Regelung von Polarisationsmodendispersion vorgesehen ist.









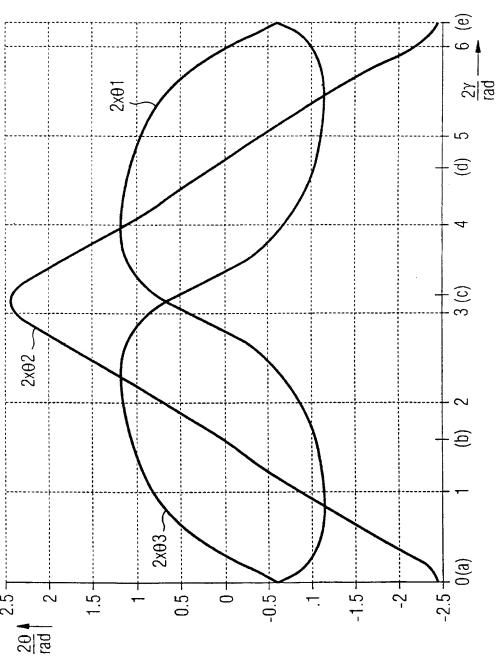


FIG 5

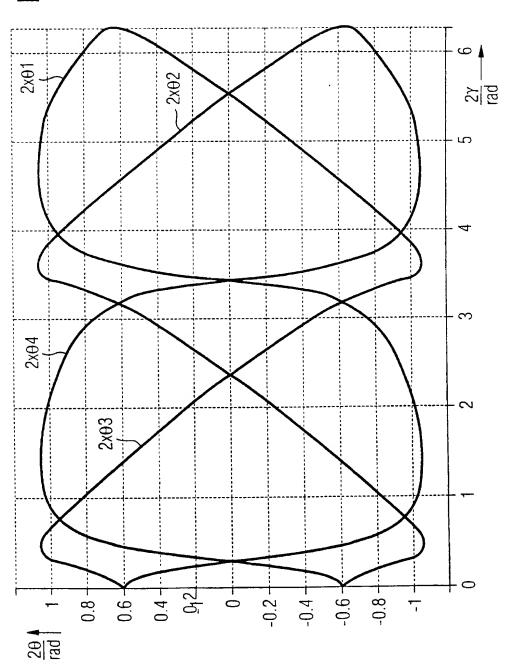


FIG 6

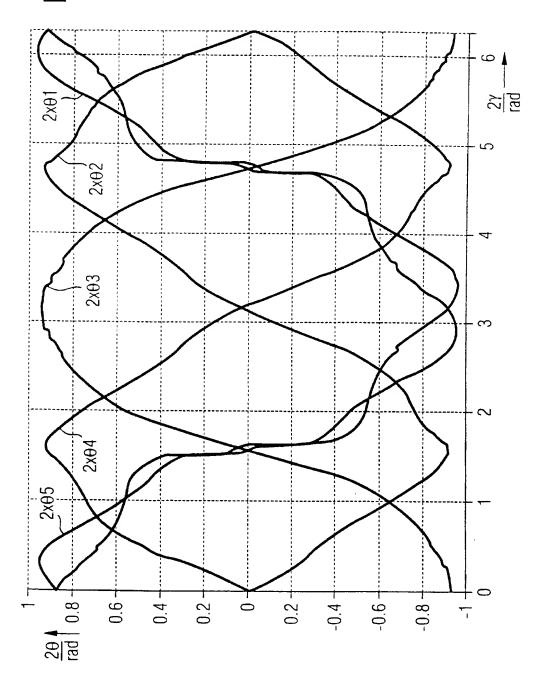


FIG 7

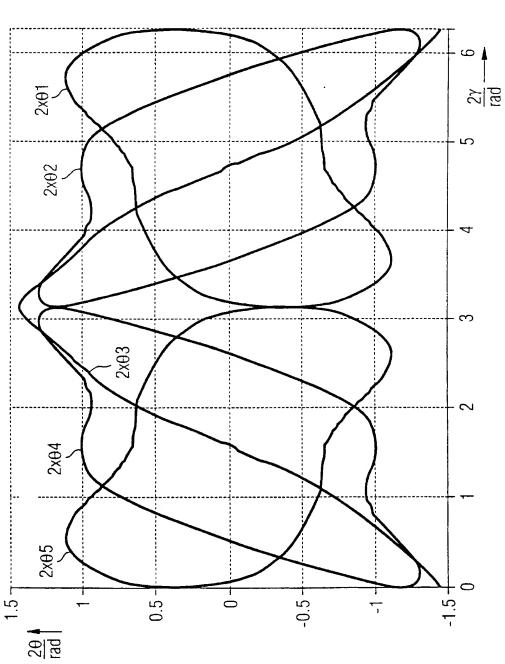


FIG 8

